

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

**Attorney Docket No. 253/049**

In re patent application of

Tae-Kyoung KIM, et al.

Group Art Unit: (Unassigned)

Serial No. (Unassigned)

Examiner: (Unassigned)

Filed: Concurrently

For: METHOD OF MEASURING AND CONTROLLING CONCENTRATION OF  
DOPANTS OF A THIN FILM

**CLAIM FOR CONVENTION PRIORITY**

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA. 22313-1450

Sir:

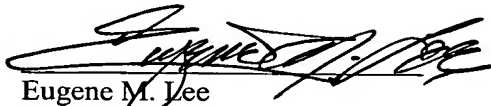
The benefit of the filing date of the following prior foreign application filed in the following foreign country is hereby requested, and the right of priority provided in 35 U.S.C. § 119 is hereby claimed.

In support of this claim, filed herewith is a certified copy of said original foreign application:

Korean Application No. 2003-12808, filed February 28, 2003.

Respectfully submitted,

March 1, 2004  
Date

  
Eugene M. Lee  
Reg. No. 32,039  
Richard A. Sterba  
Reg. No. 43,162

LEE & STERBA, P.C.  
1101 Wilson Boulevard Suite 2000  
Arlington, VA 20009  
Telephone: (703) 525-0978



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto is a true copy from the records of the Korean Intellectual Property Office.

출원 번호 : 10-2003-0012808  
Application Number

출원 년 월 일 : 2003년 02월 28일  
Date of Application  
FEB 28, 2003

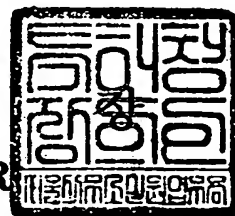
출원인 : 삼성전자주식회사  
Applicant(s) SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.



2003      년      03      월      19      일

특      허      청

COMMISSIONER



## 【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【제출일자】	2003.02.28
【발명의 명칭】	반도체 소자 제조과정에서의 박막의 불순물 농도 측정방법 및 제어방법
【발명의 영문명칭】	METHOD FOR MEASURING AND CONTROLLING CONCENTRATION OF DOPANT OF THIN FILM IN SEMICONDUCTOR MANUFACTURING PROCESS
【출원인】	
【명칭】	삼성전자 주식회사
【출원인코드】	1-1998-104271-3
【대리인】	
【성명】	박영우
【대리인코드】	9-1998-000230-2
【포괄위임등록번호】	1999-030203-7
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김태경
【성명의 영문표기】	KIM, Tae Kyoung
【주민등록번호】	710223-1011345
【우편번호】	449-904
【주소】	경기도 용인시 기흥읍 보라리 민속마을 쌍용아파트 116동 1102호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	최선용
【성명의 영문표기】	CHOI, Sun Yong
【주민등록번호】	560201-1260117
【우편번호】	463-824
【주소】	경기도 성남시 분당구 서현동 245-3
【국적】	KR

**【발명자】****【성명의 국문표기】**

전충삼

**【성명의 영문표기】**

JUN, Chung Sam

**【주민등록번호】**

650820-1094917

**【우편번호】**

442-816

**【주소】**

경기도 수원시 팔달구 우만2동 129-1 현대아파트 16동 10호

**【국적】**

KR

**【발명자】****【성명의 국문표기】**

최정현

**【성명의 영문표기】**

CHOI, Jeong Hyun

**【주민등록번호】**

730917-1622511

**【우편번호】**

449-734

**【주소】**

경기도 용인시 기흥읍 풍림아파트 103동 206호

**【국적】**

KR

**【심사청구】**

청구

**【취지】**

특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 박영우 (인)

**【수수료】****【기본출원료】**

20 면 29,000 원

**【가산출원료】**

10 면 10,000 원

**【우선권주장료】**

0 건 0 원

**【심사청구료】**

19 항 717,000 원

**【합계】**

756,000 원

**【첨부서류】**

1. 요약서·명세서(도면)\_1통

**【요약서】****【요약】**

반도체 소자 제조과정에서의 박막의 불순물 농도 측정방법 및 제어방법이 개시된다.

본 발명에 의한 박막의 불순물 농도 측정방법은 박막 증착 전 웨이퍼의 불순물 제 1 농도를 구하고, 웨이퍼에 박막을 증착한 후, 웨이퍼의 불순물 제 2 농도를 구하여 상기 2 농도와 상기 제 1 농도 차이인 상기 웨이퍼에 증착된 박막의 불순물 농도를 계산한다.

또한 본 발명에 의한 박막의 불순물 농도 측정방법은 웨이퍼 샘플을 선택하여, 선택된 상기 웨이퍼의 불순물 제 1 농도를 구하고, 박막을 증착한 후, 웨이퍼의 불순물 제 2 농도를 구하여 제 2 농도와 제 1 농도 차이인 상기 웨이퍼에 증착된 박막의 불순물 농도를 구하고, 농도의 허용조건을 만족하는지 판단하여 만족하는 경우 박막의 도포 작업을 진행하고, 만족하지 않는 경우 불순물의 농도를 재조정한다.

**【대표도】**

도 4

**【색인어】**

불순물, 박막, 형광X선, 측정, 제어

**【명세서】****【발명의 명칭】**

반도체 소자 제조과정에서의 박막의 불순물 농도 측정방법 및 제어방법 {METHOD FOR MEASURING AND CONTROLLING CONCENTRATION OF DOPANT OF THIN FILM IN SEMICONDUCTOR MANUFACTURING PROCESS}

**【도면의 간단한 설명】**

도 1은 형광 X선 분석장치의 개략도이다.

도 2는 X선 스펙트럼과 강도(Intensity)의 관계를 보여주는 그래프이다.

도 3a와 3b는 각각 박막의 도포 전과 도포 후의 형광 X선의 강도(Intensity)를 도시하는 웨이퍼의 단면도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 의한 박막의 불순물 농도 측정과정을 도시하는 순서도이다.

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 의한 박막의 불순물 농도 제어과정을 도시하는 순서도이다.

도 6은 박막의 두께와 불순물의 농도의 변화에 따른 형광 X선의 강도 변화를 알 수 있는 자료를 만드는 과정을 도시하는 순서도이다.

도 7a는 본 발명의 실시예들에 의한 불순물 농도 측정 결과와 종래 방법에 의한 불순물 농도 측정 결과를 도시하는 그래프이다.

도 7b는 본 발명의 실시예들에 의한 불순물 농도 측정 결과와 종래 방법에 의한 불순물 농도 측정 결과와의 상관관계를 도시하는 그래프이다.

## &lt;도면의 주요 부분에 대한 부호의 설명&gt;

101: 웨이퍼	102: X선 발생장치
103: 이동 검출기	104: 솔라 슬릿
105: 에널라이징 크리스탈	106: 고정 검출기
301: 기관	302: 패드 절연막
303: BPSG 막	304: 피 측정 박막

## 【발명의 상세한 설명】

## 【발명의 목적】

## 【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

- <15> 본 발명은 반도체 소자 제조과정에서의 박막의 불순물 농도 측정 및 제어방법에 관한 것으로, 보다 상세하게 설명하면 웨이퍼에 박막을 증착하기 전에 형광 X선의 강도를 이용하여 불순물의 농도를 구하고, 박막을 증착한 후의 형광 X선의 강도를 이용하여 불순물의 농도를 구한 후, 각각의 경우 불순물의 농도 차이로 웨이퍼에 증착된 박막의 불순물의 농도 측정하고 제어하는 방법에 관한 것이다.
- <16> 최근 급속도로 소형화 및 경량화가 진행되는 각종 전자장비에 있어서 반도체 소자는 필수적인 부품이라 하겠다. 반도체 소자는 순수한 4가의 원소에 3가의 원소를 도핑하거나 5가의 원소를 도핑하여 제조된다. 이렇게 3가 또는 5가의 원소가 불순물(Dopant)로 주입되어 각각 정공(Acceptor)과 자유전자(Donor)를 형성함으로써 전류가 흐르게 된다.
- <17> 따라서 박막의 전기적 특성을 좌우하는 불순물의 농도를 측정하고 이를 바탕으로 농도를 제어하는 공정은 반도체 소자의 제조공정에서 매우 중요하다.

- <18> 통상적으로 반도체 소자에서 커패시터의 전극, 트랜지스터의 전극 등을 형성하기 위해서 불순물이 도핑된 아몰퍼스 실리콘막 또는 폴리 실리콘 막이 사용되고, 이때 불순물로는 인(Phosphorus) 등이 주로 사용된다. 종래에는 폴리 실리콘 막을 증착한 후 POCL<sub>3</sub> 공정을 거쳐서 인을 주입하였으나, 근래에는 인(Phosphorus)이 불순물로서 포함된 폴리 실리콘을 직접 기판 상에 증착한다.
- <19> 이러한 불순물의 농도 측정에는 X선 형광 분석방법(XRF: X-ray Fluorescence), SIMS(Secondary Ion Mass Spectroscopy) 등이 사용되고 있다. 그러나 SIMS의 경우 매질과 표면 상태에 극히 민감하고 본질적으로 파괴적인 분석방법이라는 문제점이 있으므로 X선 형광분석 방법이 보다 많이 사용된다.
- <20> 대한민국 특허 등록번호10-0271771에는 불순물이 도핑된 박막에 소정 영역의 파장영역을 갖는 빛을 조사하고 박막에 대한 굴절율, 흡수율 또는 반사율을 측정하여 불순물의 도핑 농도를 분석하는 방법이 개시되어 있다. 이 방법을 간략히 소개하면 다음과 같다.
- <21> 패턴이 형성되지 않은 상태에서 박막만을 형성한 기준 웨이퍼를 제조하고, 기준 웨이퍼에 형성된 박막의 굴절률, 흡수율 또는 반사율을 측정한 후, 불순물의 도핑 농도와 굴절률, 흡수율 또는 반사율과의 상관관계를 도출한다. 이러한 상관관계를 바탕으로 분석하고자 하는 분석 박막의 굴절률, 흡수율 또는 반사율을 측정하고, 기 도출된 상관관계를 이용하여 불순물의 도핑농도를 측정하고 있다.
- <22> 그러나 이러한 종래의 방법은 별도의 기준 웨이퍼를 제작하여야 한다. 기준웨이퍼는 실제 패턴이 형성된 웨이퍼에서의 불순물의 농도 측정결과를 반영하기 위해서 특수하게 제작되는데, 이러한 기준 웨이퍼를 제작하는 방법이 일본 특개평10-070168에 개시되어 있다.



<23> 반도체 소자를 제조하기 위해서는 웨이퍼 위에 많은 수의 박막이 형성되고 식각되는 과정이 수행되는데, 각각의 경우에 불순물의 농도를 측정하기 위해서 그때마다 기준 웨이퍼를 이용하여 불순물의 농도를 측정하는 것은 상당한 수의 웨이퍼의 낭비를 가져올 뿐 아니라 테스트를 위한 기준웨이퍼를 별도로 제조하는 시간을 요하므로 생산성이 저하된다.

<24> 또한 불순물 농도 측정에 별도의 많은 시간을 요하므로 불순물의 농도가 잘못된 경우 그 사이에 생산된 많은 수의 웨이퍼에 불량 발생하므로 웨이퍼의 수율이 저하되는 문제점이 있었다.

**【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】**

<25> 따라서 본 발명의 제 1 목적은 별도의 기준 웨이퍼를 제작하지 않고, 패턴이 형성된 웨이퍼에서 직접 박막의 불순물 농도를 측정할 수 있도록 함으로써 불순물의 농도 측정시간을 단축하고 웨이퍼의 낭비를 막아 생산성을 향상시키고자 함이다.

<26> 본 발명의 제 2 목적은 박막의 불순물 농도를 신속하게 제어할 수 있도록 하여 불량 웨이퍼의 수를 최소화하여 수율을 향상시키고자 함이다.

**【발명의 구성 및 작용】**

<27> 상기 제 1 목적을 달성하기 위한 본 발명에 의한 박막의 불순물 농도 측정방법은, 박막 증착 전 웨이퍼의 불순물 제 1 농도를 구하는 단계와, 상기 웨이퍼에 박막을 증착하는 단계와, 상기 박막 증착 후 상기 웨이퍼의 불순물 제 2 농도를 구하는 단계, 및 상기 박막 증착 후 불순물 제 2 농도와 상기 박막 증착 전 불순물 제 1 농도 차이인 상기 웨이퍼에 증착된 박막의 불순물 농도를 계산하는 단계를 포함한다.

<28> 또한, 상기 제 2 목적을 달성하기 위한 본 발명에 의한 박막의 불순물 농도

제어방법은, 웨이퍼 샘플을 선택하는 단계와, 선택된 상기 웨이퍼의 불순물 제 1 농도를 구하는 단계와; 상기 웨이퍼에 박막을 증착하는 단계와; 박막 증착 후 상기 웨이퍼의 불순물 제 2 농도를 구하는 단계; 박막 증착 후 불순물의 제 2 농도와 박막 증착 전 불순물의 제 1 농도 차이인 상기 웨이퍼에 증착된 박막의 불순물 농도를 계산하는 단계; 및 농도의 허용조건을 만족하는지 판단하여 만족하는 경우 상기 샘플 웨이퍼 이외의 나머지 웨이퍼에 박막의 도포 작업을 진행하고, 만족하지 않는 경우 불순물의 농도를 재조정하고 상기 단계를 반복하는 단계를 포함한다.

<29> 양호하게는 상기 불순물 제 1 농도 및 제 2 농도를 구하는 방법은 형광 X선 분석을 이용한다.

<30> 보다 더 양호하게는, 상기 불순물 제 1 농도 및 제 2 농도 구하는 방법은 박막의 두께와 불순물의 농도의 변화에 따른 형광 X선의 강도의 변화가 기록된 미리 작성된 자료를 준비하는 단계, 및 상기 자료와 상기 형광 X선 분석의 결과 얻어진 형광 X선의 강도를 비교하여 상기 불순물 제 1 농도 및 제 2 농도를 구하는 단계를 포함한다.

<31> 보다 더 양호하게는, 상기 자료는 박막의 두께를 고정시킨 후 불순물의 농도를 변화시켜가며 형광 X선의 강도(Intensity)를 측정하고 그 결과를 기록하는 단계와, 상기 박막의 두께를 변화시킨 후, 불순물의 농도를 변화시켜가며 형광 X선의 강도(Intensity)를 측정하고 그 결과를 기록하는 단계, 및 상기 기록이 충분한지 판단하고 충분하지 않으면 상기 단계들을 반복하고, 충분한 경우 상기 기록을 바탕으로 만들어진다.

<32> 보다 더 양호하게는, 상기 자료는 제 1축은 불순물의 농도를 표시하고 제 2축은 박막의 두께를 표시하는 단계, 및 상기 제 1축의 고정된 값과 상기 제 2축의 고정된 값의 교차

점 즉 고정된 농도와 박막의 두께를 표시하는 지점에, 그 지점에서 측정된 형광 X선의 강도(Intensity)를 기록하는 단계를 포함하여 만들어진다.

<33> 보다 더 양호하게는, 상기 자료는 상기 제 1축과 상기 제 2축은 서로 수직하고, 상기 제 1축 및 상기 제 2축과 수직한 상기 제 3축에 형광 X선의 강도(Intensity)를 표시하는 단계, 및 상기 형광 X선의 강도를 연결하는 곡면을 구하여, 연속적으로 변화하는 박막의 두께 및 불순물의 농도에 따른 형광 X선의 강도변화를 구하는 단계를 더 포함하여 연속적인 자료로 만들어진다.

<34> 보다 더 양호하게는, 상기 X선의 강도를 연결하는 곡면을 구하는 단계는 내삽법(Interpolation)을 이용한다.

<35> 상기 불순물로는 인(Phosphorus) 등이 될 수 있다. 또한 상기 웨이퍼는 패턴이 형성된 웨이퍼이다.

<36> 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명을 상세히 설명한다.

<37> 도 1은 형광 X선 분석장치의 개략도이다.

<38> 도 1을 참조하면, 형광 X선 분석 장치는 크게 X선 발생장치(102), 솔라 슬릿(Solar slit:104), 이동 검출기(103), 에널라이징 크리스탈(Analysing crystal:105) 및 고정 검출기(106)을 포함한다. X선 발생장치에서 발생한 X선은 웨이퍼(101)에 조사되고 웨이퍼(101)에서 발생된 형광 X선은 솔라 슬릿(104)를 거쳐 이동 검출기(103)에서 검출되거나, 혹은 에널라이징 크리스탈(105)를 거쳐 고정 검출기(106)에서 검출된다. 형광 X선은 물질에 X선을 조사하여 전자가 높은 에너지 준위로 이동했다가 다시 낮은 에너지

준위로 이동하면서 발생하는 특성 X선을 말한다. 이에 관해서는 도 2에 관한 부분에서 상세히 설명한다.

<39> 원자 번호 22(티타늄, Titanium) 이상의 중원소의 경우에는 이동 검출기(103)을 사용하여 검출하고 원자 번호 22미만의 경원소의 경우에는 고정 검출기(106)를 사용하여 검출한다.

<40> X선 발생장치(102)는 크게 X선관(X-ray tube), 고전압 발생장치(High voltage generator) 및 각종 보안회로를 포함한다.

<41> X선관은 열전자 2극 진공관으로 가열된 음극(일반적으로 텅스텐 필라멘트)으로부터 나온 열전자를 가속시켜 대음극에 충돌하면서 X선이 방사된다. 대음극을 향한 전자의 흐름은 일반적으로 넓게 퍼지므로 베넬트 원통(Wehnelt cylinder)에 적당한 전장을 걸어서 전자 흐름의 발산을 막고 대음극 위에 필요한 크기의 접점을 만든다. 밀폐형 X선관에는 20 내지 60 kV의 전압과 최대 50 mA의 전류를 사용한다.

<42> 고전압 발생장치는 X선관에 음의 고전압을 공급한다. 그밖에 보안회로는 과부하, 고전압, 저전압 등을 경고한다.

<43> 솔라 슬릿(104)는 집진(Concentrating)의 역할을 담당하며, 에널라이징 크리스탈(105)은 뒤에서 설명한 특성 X선을, 가시광선 영역에서의 프리즘과 기능과 같이 파장별로 분해한다.

<44> 이동 검출기(103) 및 고정 검출기(106) 등의 검출기는 일반적으로 비례 계수관(Proportional Counter, PC) 이나 신타레이션 계수관(Scintillation Counter, SC) 등이 사용된다. 이전에는 가이거 계수관(Geiger-Muller Counter, GMC)이 사용되었으나, 계수

직선영역(Linear Region of Counting Rate)이 좁고 수명이 짧아 현재는 잘 사용되지 않는다.

- <45> 이러한 계수관은 일정한 에너지 분해능을 갖고 있는데, 이러한 에너지 분해능에 의해서 발생하는 파형의 일그러짐을 보정하고 불순물의 특성 및 농도 산출을 향상시키는 방법이 일본 특개평 6-174665에 개시되어 있다.
- <46> 도 2는 X선 스펙트럼과 강도(Intensity)의 관계를 보여주는 그래프이다.
- <47> 도 2를 참조하면, X선 스펙트럼은 연속 X선(Continuous X-rays, White X-rays)과 특성 X선(Characteristic X-rays) 두 종류가 있다.
- <48> 연속 X선은 일정한 전압으로 전자를 가속시켜 발생된다. 연속 X선 스펙트럼은 단파장 측에서는 명확한 한계를 갖는다. 즉 타겟(Target)에 전류를 일정하게 두고, 전압을 변화시켰을 때, 최단파장(Shortest wavelength)  $\lambda_m$ 은 전자가 타겟에 충돌하면서, 전자가 갖고 있던 전체의 운동에너지 모두가 X선 광량자로 변환된 것이므로, 전자가 갖는 에너지 eV와 광량자가 갖는 에너지  $hc/\lambda_m$ 가 동일하다는 조건으로부터, 최단 파장  $\lambda_m$ 은  $hc/eV$  값을 갖는다(h는 플랑크상수, c는 광속, e는 전자의 하전량, V는 전자를 가속시키는 전압).
- <49> 즉 연속 X선은 전자가 타겟에 충돌하면서 전자가 가지고 있던 운동에너지의 일부가 X선 광량자로 변화되면서 발생하는 제동방사(Bremsstrahlung)이며, 이는 앞의 최단파장 보다 긴 파장 쪽으로 분포한다. 따라서 이러한 연속 X선의 파장에 따른 스펙트럼의 형태는 X선 발생기에서 걸어주는 전압의 강도에 따라 결정된다.

- <50> 연속 X선의 분포를 보면 최대 세기(Intensity)는 최단 파장의 1.5배 부근에서 나타난다.
- <51> 한편 특성 X선(Characteristic X-ray)의 파장은 타겟 물질을 구성하고 있는 원소에 따라 그 고유의 값을 갖고 있으며 K, L, M, ... 등의 계열로 분류된다. 원자핵 주위의 전자는 일정한 원자핵으로부터 외측으로 K 껍질(K-shell), L 껍질(L-shell), M 껍질(M-shell)... 에 존재하는데, 예컨대 K 계열은 외측의 궤도로부터 K 껍질로 전이할 때 발생하는 X선을 나타내고, L 계열은 외측의 궤도로부터 L 껍질로 전이할 때 발생하는 X선을 나타낸다.
- <52> 같은 계열에서도 특성 X선은 근접한 몇 개의 파장군(Wavelength group)으로 구성된다. 예를 들면 K 계열(K series)은  $K\alpha$ ,  $K\beta$ , ... 등인데 이는 각각 L 껍질로부터 K 껍질로 전이하는 경우에 발생하는 특성 X선이고, M 껍질로부터 K 껍질로 전이하는 경우에 발생하는 특성 X선이다. 그런데 원자의 에너지 준위, 즉 각 껍질간의 에너지 차이는 물질마다 고유하다. 따라서 특성 X선의 파장도 각 물질마다 고유한 값을 갖게 되고 이러한 파장을 분석하면 불순물의 종류를 알 수 있게 된다.
- <53> 도 3a와 3b는 각각 박막의 도포 전과 도포 후의 형광 X선의 강도(Intensity)를 도시하는 웨이퍼의 단면도이다. 도 3a와 3b를 참조하여 설명한다.
- <54> X선은 특성상 물질을 통과하는 성질을 갖고 있다. 그러므로 X선을 이용하여 박막의 불순물의 도핑 농도를 측정하고자 하는 경우 박막 뿐 아니라 불순물의 농도를 측정하고자 하는 박막 아래에 증착된 막들에 포함된 불순물도 동시에 측정되는 문제점이 발생한다.

- <55> 따라서 본 발명의 제 1 실시예에 따른 박막에 삽입된 불순물의 농도 측정 방법은 박막 도포 전(도 3a)의 형광 X선( $I_1+I_2+I_3$ )로부터 박막 도포전과 박막 도포 후(도 3b)의 형광 X선( $I_1+I_2+I_3+I_4$ )의 차이( $I_4$ )로부터 박막에 도포된 불순물의 농도를 구한다.
- <56> 도 3a를 참조하면, 기판(301)으로부터 발생한 형광 X선( $I_2$ )과 패드 절연막(302)으로부터 발생한 형광 X선( $I_1$ ) 및 보로 포스포 실리케이트 글래스(Boro-Phospho-Silicate Glass: BPSG)막으로부터 발생한 형광 X선( $I_3$ )이 합쳐져 박막 도포 전의 형광 X선( $I_1+I_2+I_3$ )을 형성한다.
- <57> 도 3b를 참조하면, 기판(301)으로부터 발생한 형광 X선( $I_2$ ), 패드 절연막(302)으로부터 발생한 형광 X선( $I_1$ ), 보로 포스포 실리케이트 글래스(Boro-Phospho-Silicate Glass: BPSG)막 및 새롭게 증착된 피 측정 박막(304)으로부터 발생한 형광 X선( $I_4$ )이 박막 도포 후의 형광 X선( $I_1+I_2+I_3+I_4$ )을 형성한다.
- <58> 따라서 박막의 불순물에 의한 형광 X선( $I_4$ )은 박막 도포 후의 형광 X선( $I_1+I_2+I_3+I_4$ )과 도포 전의 형광 X선( $I_1+I_2+I_3$ )의 차이를 구하면 된다. 이러한 원리를 이용하여 박막의 불순물의 농도를 측정하게 된다.
- <59> 도 4는 본 발명의 일 실시예에 의한 박막의 불순물 농도 측정과정을 도시하는 순서도이다.
- <60> 도 4를 참조하면, 박막의 불순물의 농도를 측정하기 위해서, 먼저 박막이 증착되기 전 웨이퍼의 불순물 농도를 측정한다(S401). 웨이퍼를 형광 X선 분석 장치에 장착하고 형광 X선 분석장치의 X선관에서 발생하는 연속 X선을 웨이퍼에 조사하고, 웨이퍼로부터 방출되는 형광 X선의 강도를 도1에서 도시된 이동 검출기(103) 또는 고정 검출기(106)로

검출한다. 검출된 형광 X선의 강도를 이용하여 불순물의 농도를 구한다. 형광 X선의 강도로써, 불순물의 농도로 구하는 방법은 이후에 설명한다.

<61> 박막이 증착되기 전 웨이퍼의 불순물 농도를 측정한 후에는 웨이퍼에 박막을 증착한다(S402). 박막이 증착된 후 다시 웨이퍼의 불순물 농도를 측정한다(S403). 박막이 증착된 후의 불순물 농도 측정은 박막이 증착되기 전의 불순물 농도측정과 동일한 과정을 거친다. 즉 웨이퍼를 형광 X선 분석 장치에 장착하고 형광 X선 분석 장치의 X선관에서 발생하는 연속 X선을 웨이퍼에 조사하고, 웨이퍼로부터 방출되는 형광 X선의 강도를 도1에서 도시된 이동 검출기(103) 또는 고정 검출기(106)로 검출한다. 검출된 형광 X선의 강도를 이용하여 불순물의 농도를 구한다.

<62> 이후 박막 증착 후, 구해진 불순물의 농도와 박막 증착 전 구해진 불순물의 농도 차이를 구하여 박막의 불순물 농도를 산출한다(S404).

<63> 도 5는 본 발명의 다른 실시예에 의한 박막의 불순물 농도 제어과정을 도시하는 순서도이다.

<64> 도 5를 참조하면, 박막의 불순물의 농도를 제어하기 위해서, 먼저 샘플 웨이퍼를 선택한다(S501). 박막이 증착되기 전 샘플로 선택된 웨이퍼의 불순물 농도를 구한다(S502). 상기 웨이퍼를 형광 X선 분석 장치에 장착하고 형광 X선 분석장치의 X선관에서 발생하는 연속 X선을 웨이퍼에 조사하고, 상기 웨이퍼로부터 방출되는 형광 X선의 강도를 도1에서 도시된 이동 검출기(103) 또는 고정 검출기(106)로 검출한다. 검출된 형광 X선의 강도를 이용하여 불순물의 농도를 구한다. 형광 X선의 강도를 이용하여 불순물의 농도로 구하는 방법은 이후에 설명한다.



- <65> 박막이 증착되기 전 웨이퍼의 불순물 농도를 구한 후에는 웨이퍼에 박막을 증착한다 (S503). 박막이 증착된 후 다시 웨이퍼의 불순물 농도를 구한다(S504). 박막이 증착된 후의 불순물 농도 측정은 박막이 증착되기 전의 불순물 농도측정과 동일한 과정을 거친다. 즉 웨이퍼를 형광 X선 분석 장치에 장착하고 형광 X선 분석장치의 X선관에서 발생하는 연속 X선을 웨이퍼에 조사하고, 웨이퍼로부터 방출되는 형광 X선의 강도를 도1에서 도시된 이동 검출기(103) 또는 고정 검출기(106)로 검출한다. 검출된 형광 X선의 강도를 이용하여 불순물의 농도를 구한다.
- <66> 이후 박막 증착 후, 구해진 불순물의 농도와 박막 증착 전 구해진 불순물의 농도 차이인 박막의 불순물 농도를 구한다(S505).
- <67> 구해진 박막의 불순물 농도가 오차 허용범위를 만족하는지 여부를 판단하여(S506), 허용범위를 만족하는 경우 계속적으로 샘플 웨이퍼 이외의 웨이퍼들에게 박막의 도포작업을 진행하고(S507), 허용범위가 만족되지 않는 경우 불순물의 농도를 새롭게 조절하고(S508), 다시 앞의 절차를 반복한다.
- <68> 다음으로 특성 X선의 강도로써, 불순물의 농도로 구하는 방법을 설명한다.
- <69> 특성 X선의 강도는 일반적으로 도핑된 불순물의 농도와 대략적으로 비례한다. 그러나 반드시 선형적으로 비례하는 것은 아니므로 정밀한 측정을 위해서는 다음의 방법에 의한다. 특성 X선의 강도를 이용하여 불순물의 농도를 구하기 위해서는 먼저 자료가 준비되어야 한다.
- <70> 자료를 만드는 방법을 설명하면 다음과 같다.

- <71> 도 6은 박막의 두께와 불순물의 농도의 변화에 따른 형광 X선의 강도 변화를 알 수 있는 자료를 만드는 과정을 도시하는 순서도이다. 먼저 박막의 두께를 고정시킨 후, 불순물의 농도를 변화시켜가며 형광 X선의 강도를 측정하고 그 결과를 기록한다(S601). 다음으로 박막의 두께를 조금 변화시킨 후, 불순물의 농도를 변화시켜가며 형광 X선의 강도를 측정하고 그 결과를 기록한다(S602). 기록이 충분한지 판단하여(S603) 기록이 불충분하면 다시 위의 기록 과정을 계속하여 기록을 수집하고, 기록이 충분한 경우, 상기 기록을 바탕으로 이산적 자료를 작성한다(S604). 또한 상기 이산적 자료를 바탕으로 연속적 자료를 작성한다(S605).
- <72> 상기 이산적 자료를 작성하는 과정을 상세히 설명한다.
- <73> 상기 기록 바탕으로 제 1축은 불순물의 농도를 표시하고 제 2축은 박막의 두께를 표시한 후, 상기 제 1축의 고정된 값과 상기 제 2축의 고정된 값의 교차점 즉 고정된 농도와 박막의 두께를 표시하는 지점에, 그 지점에서 측정된 형광 X선의 강도를 기록하여 자료를 작성한다. 이렇게 작성된 자료는 이산적인 테이블이다.
- <74> 이러한 이산적인 자료와 측정하고자 하는 웨이퍼로부터 측정된 형광 X선의 강도를 비교하면 웨이퍼 박막의 두께 및 불순물의 농도를 구할 수 있다. 즉 불순물의 농도와 박막의 두께에 따른 형광 X선의 강도를 데이터 베이스화한 후, 형광 X선의 강도를 구해서 역으로 불순물의 농도와 박막의 두께를 구한다.
- <75> 그런데 이렇게 구해진 자료 이산적이므로, 측정된 형광 X선의 강도가 테이블에 기록된 값과 일치하지 않는 경우가 발생한다.

- <76> 이러한 경우에는 박막의 두께 및 불순물의 농도를 구하는데 어려움이 따른다. 따라서 이산적인 테이블을 연속적인 그래프로 만들게 되면 보다 용이하게 박막의 두께 및 불순물의 농도를 산출할 수 있다.
- <77> 이하 상기 연속적 자료를 작성하는 방법을 상세히 설명한다.
- <78> 상기 이산적 자료를 기초로 하여, 불순물의 농도를 제 1축으로 하고, 박막의 두께를 상기 제 1축과 수직한 제 2 축으로 하여 상기 제 1축 및 제 2축과 수직한 제 3축에 각각의 경우에 대응하는 형광 X선의 강도를 기록한다. 이렇게 이산적인 형광 X선의 강도를 연결하는 곡면을 구한다.
- <79> 이렇게 이산적인 그래프 사이를 연결하여 연속적인 그래프로 전환하기 위해서는, 실변수 함수의 모양은 알려져 있지 않지만 어떤 간격(등간격이나 부등간격이나 상관없다)을 갖는 2개 이상인 변수의 값에 대한 함수값이 알려져 있는 경우, 그 사이의 임의의 변수에 대한 함수값을 추정하는 내삽법(보간법, interpolation)을 적용한다.
- <80> 본 테이블의 내삽에는 박막의 두께 및 불순물의 농도, 두개의 변수를 가지므로 2변수 함수에 대한 종래 개발된 표면 근사(surface fitting)방법을 적용한다. 이러한 표면 근사방법은 크게 2 변수가 규칙적인 간격으로 이격된 경우와 불규칙한 간격으로 이격된 경우 각각 다른 알고리즘이 개발되어 널리 사용되고 있다.
- <81> 불규칙한 간격으로 이격된 경우에는 불규칙한 삼각화 망(TIN: Triangulated Irregular Network)이 많이 사용되고 있으며, 규칙적인 간격으로 이격된 경우는 주로 쌍일차 내삽법(Bilinear interpolation)과 쌍삼차 내삽법(Bicubic interpolation)이 많이 사용된다.

<82> 이와같이 이산적인 자료를 내삽법을 적용하여 연속적인 그래프로 만들면, 형광 X선의 강도를 이용하여 보다 용이하게 박막의 두께 및 불순물의 농도를 구할 수 있다.

<83> 본 발명의 일 실시예에 따른 불순물 농도 측정결과와 종래 기준웨이퍼를 이용한 불순물 농도 측정결과와의 비교

<84> 【표 1】

측정지점	특성 X선의 강도(Intensity)			
	종래 방법	본 발명의 실시예에 따른 방법		
		박막 도포후	박막 도포전	박막 도포전-박막 도포후
웨이퍼 상부	3.1659	3.3224	0.1955	3.1269
웨이퍼 좌측부	3.1545	3.3173	0.1996	3.1177
웨이퍼 중앙	3.1139	3.2837	0.1977	3.086
웨이퍼 우측부	3.1721	3.3286	0.1987	3.1299
웨이퍼 하부	3.1756	3.3197	0.1824	3.1373

<85> 표 1은 종래 기준 웨이퍼를 제조하여 측정한 특성 X선의 강도와 본 발명의 실시예에 따른 특성 X선의 강도를 측정한 결과를 나타낸다. 특성 X선의 강도를 나타내는 수치의 단위는 kcps(kilo count per second)로서 1초당 검출기(counter)에서 검출된 특성 X선의 광량자 수를 나타낸다. 참고로 각 측정 수치를 cps로 환산하여도 소수점단위로 나타나는데 이는 수초당 측정된 광량자 수를 시간으로 나누어 1초당 측정된 광량자 수를 구하였기 때문이다.

<86> 측정 지점은 웨이퍼의 플랫존(Flat zone) 또는 노치(Notch) 부분을 아래로 하여 웨이퍼 상부, 웨이퍼 좌측부, 웨이퍼 중앙, 웨이퍼 우측부 및 웨이퍼 하부, 5개 지점에서 측정하였다. 실험결과, 본 발명에 의하여 패턴이 형성된 웨이퍼로부터 직접적으로 구해진

불순물의 농도는 종래 기준 웨이퍼를 제조하여 기준 웨이퍼로부터 측정된 불순물의 농도와 거의 일치하는 값을 보였다.

<87> 또한, 각 지점에서 관측된 오차는 각각 약 1.23%, 1.17%, 0.90%, 0.13% 및 1.21%로서 이는 웨이퍼 불순물 측정 단계에서 허용하는 오차 범위내에 포함된다. 따라서 본 발명의 신뢰성을 보증한다.

<88> 더욱이, 본 발명의 실시예에 따른 측정결과는 종래 기준 웨이퍼를 이용한 측정결과와 매우 유사한 패턴을 보이는 것을 알 수 있다. 이를 그래프를 이용하여 비교해 보기로 한다.

<89> 도 7a는 본 발명의 실시예들에 의한 불순물 농도 측정 결과와 종래 방법에 의한 불순물 농도 측정 결과를 도시하는 그래프이다.

<90> 도 7a를 참조하면, x축은 측정위치로서 순차적으로 상부, 좌측부, 중앙부, 우측부, 하부를 나타내고 y축은 형광 X선의 강도를 나타낸다.

<91> 종래 기준 웨이퍼를 이용하는 방법과 본 발명의 실시예에 의한 방법을 비교해 보면 절대값은 상술한 오차 범위 내에서 약간의 차이를 보이지만 그래프의 패턴은 거의 일치한다. 즉, 종래 기준 웨이퍼를 이용하는 방법과 본 발명의 실시예에 의한 방법 모두 웨이퍼의 상부 및 하부가 상대적으로 불순물의 농도가 높고, 웨이퍼의 중앙부가 상대적으로 불순물의 농도가 낮게 측정되었다.

<92> 종래 기준 웨이퍼를 이용하는 방법과 본 발명의 실시예의 절대값의 차이는 X선의 침투 깊이에 따른 흡수현상에 기인하는 것으로 생각된다. 그렇지만 형광 X선의 강도에 차이

가 있다하더라도 앞에서 설명한 테이블에 두께에 따른 형광 X선의 강도 변화가 이미 고려되어 있으므로, 박막에 도핑된 불순물의 농도를 정확히 측정할 수 있다.

<93> 도 7b는 본 발명의 실시예들에 의한 불순물 농도 측정 결과와 종래 방법에 의한 불순물 농도 측정 결과와의 상관관계를 도시하는 그래프이다.

<94> 도 7b의 그래프는 좌표값(X, Y)의 값을 각각 (종래방법, 본 발명의 실시예)로 하여 작성한 것이다. 작은 값으로부터 웨이퍼의 중앙, 좌측부, 상부, 우측부, 하부점을 나타낸다. 두 방법간의 상관관계는 0.993으로 매우 양호한 결과를 나타낸다.

#### 【발명의 효과】

<95> 본 발명은 별도의 기준 웨이퍼를 제작하지 않고, 패턴이 형성된 웨이퍼에서 직접 박막의 불순물 농도를 측정할 수 있도록 함으로써 불순물의 농도 측정시간을 단축하고 웨이퍼의 낭비를 막아 생산성을 향상시키는 효과가 있다.

<96> 또한 박막의 불순물 농도를 신속하게 제어할 수 있도록 하여 불량 웨이퍼의 수를 최소화하여 수율을 향상시키는 효과가 있다.

<97> 상술한 바와 같이, 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만 해당 기술 분야의 숙련된 당업자라면 하기의 특허 청구범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

**【특허청구범위】****【청구항 1】**

박막 증착 전 웨이퍼의 불순물 제 1 농도를 구하는 단계;

상기 웨이퍼에 박막을 증착하는 단계;

상기 박막 증착 후 상기 웨이퍼의 불순물 제 2 농도를 구하는 단계; 및

상기 박막 증착 후 불순물 제 2 농도와 상기 박막 증착 전 불순물 제 1 농도 차이인  
상기 웨이퍼에 증착된 박막의 불순물 농도를 구하는 단계;

를 포함하는 박막의 불순물 농도 측정방법.

**【청구항 2】**

제 1항에 있어서 상기 불순물 제 1 농도 및 제 2 농도를 구하는 방법은 형광 X선 분석  
을 이용하는 박막의 불순물 농도 측정방법.

**【청구항 3】**

제 2항에 있어서, 상기 불순물 제 1 농도 및 제 2 농도 구하는 방법은

박막의 두께와 불순물의 농도의 변화에 따른 형광 X선의 강도의 변화가 기록된 미리  
작성된 자료를 준비하는 단계; 및

상기 자료와 상기 형광 X선 분석의 결과 얻어진 형광 X선의 강도를 비교하여 상기 불  
순물 제 1 농도 및 제 2 농도를 구하는 단계;

를 포함한 불순물 농도 측정방법.

**【청구항 4】**

제 3항에 있어서, 상기 자료는

박막의 두께를 고정시킨 후, 불순물의 농도를 변화시켜가며 형광 X선의 강도(Intensity)를 측정하고 그 결과를 기록하는 단계;

상기 박막의 두께를 변화시킨 후, 불순물의 농도를 변화시켜가며 형광 X선의 강도(Intensity)를 측정하고 그 결과를 기록하는 단계; 및

상기 기록이 충분한지 판단하고 충분하지 않으면 상기 단계들을 반복하고, 충분한 경우 상기 기록을 바탕으로 자료를 만드는 단계;

를 포함하는 과정을 거쳐 제작된 것을 특징으로 하는 불순물 농도 측정방법.

**【청구항 5】**

제 4항에 있어서, 상기 자료는

제 1축은 불순물의 농도를 표시하고 제 2축은 박막의 두께를 표시하는 단계; 및

상기 제 1축의 고정된 값과 상기 제 2축의 고정된 값의 교차점 즉 고정된 농도와 박막의 두께를 표시하는 지점에, 그 지점에서 측정된 형광 X선의 강도(Intensity)를 기록하는 단계;

를 포함하는 과정을 거쳐 제작된 것을 특징으로 하는 박막의 불순물 농도 측정방법.

**【청구항 6】**

제 5항에 있어서,



상기 제 1축과 상기 제 2축은 서로 수직하고, 상기 제 1축 및 상기 제 2축과 수직한  
상기 제 3축에 형광 X선의 강도(Intensity)를 표시하는 단계; 및

상기 형광 X선의 강도를 연결하는 곡면을 구하여, 연속적으로 변화하는 박막의 두께  
및 불순물의 농도에 따른 형광 X선의 강도변화를 구하는 단계;

를 더 포함하여, 상기 이산적인 자료를 연속적인 자료로 만드는 것을 특징으로 하는 박  
막의 불순물 농도 측정방법.

**【청구항 7】**

제 6항에 있어서, 상기 X선의 강도를 연결하는 곡면을 구하는 단계는 내삽법  
(Interpolation)을 이용하는 불순물 농도 측정방법.

**【청구항 8】**

제 1항에 있어서, 상기 박막은 불순물 포함되어 증착된 폴리 실리콘 막인 것을 특징으  
로 하는 박막의 불순물 농도 측정방법.

**【청구항 9】**

제 1항에 있어서, 상기 웨이퍼는 패턴이 형성된 웨이퍼인 것을 특징으로 하는 불순물  
농도 측정방법.

**【청구항 10】**

웨이퍼 샘플을 선택하는 단계;

선택된 상기 웨이퍼의 불순물 제 1 농도를 구하는 단계;

상기 웨이퍼에 박막을 증착하는 단계;

박막 증착 후 상기 웨이퍼의 불순물 제 2 농도를 구하는 단계;

박막 증착 후 불순물의 제 2 농도와 박막 증착 전 불순물의 제 1 농도 차이인 상기 웨이퍼에 증착된 박막의 불순물 농도를 구하는 단계; 및

농도의 허용조건을 만족하는지 판단하여 만족하는 경우 상기 샘플 웨이퍼 이외의 나머지 웨이퍼에 박막의 도포 작업을 진행하고, 만족하지 않는 경우 불순물의 농도를 재조정하고 상기 단계를 반복하는 단계;

를 포함하는 박막의 불순물 농도 제어방법.

#### 【청구항 11】

제 10항에 있어서 상기 불순물 제 1 농도 및 제 2 농도를 구하는 방법은 형광 X선 분석을 이용하는 박막의 불순물 농도 제어방법.

#### 【청구항 12】

제 11항에 있어서, 상기 불순물 제 1 농도 및 제 2 농도 구하는 방법은

박막의 두께와 불순물의 농도의 변화에 따른 형광 X선의 강도의 변화가 기록된 미리 작성된 자료를 준비하는 단계; 및

상기 자료와 상기 형광 X선 분석의 결과 얻어진 형광 X선의 강도를 비교하여 상기 불순물 제 1 농도 및 제 2 농도를 구하는 단계;

를 포함한 불순물 농도 제어방법.

#### 【청구항 13】

제 12항에 있어서, 상기 자료는

박막의 두께를 고정시킨 후, 불순물의 농도를 변화시켜가며 형광 X선의 강도(Intensity)를 측정하고 그 결과를 기록하는 단계;

상기 박막의 두께를 변화시킨 후, 불순물의 농도를 변화시켜가며 형광 X선의 강도(Intensity)를 측정하고 그 결과를 기록하는 단계; 및

상기 기록이 충분한지 판단하고 충분하지 않으면 상기 단계들을 반복하고, 충분한 경우 상기 기록을 바탕으로 자료를 만드는 단계;

를 포함하는 과정을 거쳐 제작된 것을 특징으로 하는 불순물 농도 제어방법.

#### 【청구항 14】

제 13항에 있어서, 상기 자료는

제 1축은 불순물의 농도를 표시하고 제 2축은 박막의 두께를 표시하는 단계; 및  
상기 제 1축의 고정된 값과 상기 제 2축의 고정된 값의 교차점 즉 고정된 농도와 박막의 두께를 표시하는 지점에, 그 지점에서 측정된 형광 X선의 강도(Intensity)를 기록하는 단계;

를 포함하는 과정을 거쳐 제작된 것을 특징으로 하는 박막의 불순물 농도 제어방법.

#### 【청구항 15】

제 14항에 있어서,

상기 제 1축과 상기 제 2축은 서로 수직하고, 상기 제 1축 및 상기 제 2축과 수직한  
상기 제 3축에 형광 X선의 강도(Intensity)를 표시하는 단계; 및

상기 형광 X선의 강도를 연결하는 곡면을 구하여, 연속적으로 변화하는 박막의 두께 및 불순물의 농도에 따른 형광 X선의 강도변화를 구하는 단계;  
를 더 포함하여, 상기 이산적인 자료를 연속적인 자료로 만드는 것을 특징으로 하는 박막의 불순물 농도 제어방법.

**【청구항 16】**

제 15항에 있어서, 상기 X선의 강도를 연결하는 곡면을 구하는 단계는 내삽법 (Interpolation)을 이용하는 불순물 농도 제어방법.

**【청구항 17】**

제 10항에 있어서, 상기 박막은 불순물 포함되어 증착된 폴리 실리콘 막인 것을 특징으로 하는 박막의 불순물 농도 제어방법.

**【청구항 18】**

제 10항에 있어서, 상기 웨이퍼는 패턴이 형성된 웨이퍼인 것을 특징으로 하는 불순물 농도 제어방법.

**【청구항 19】**

박막 증착 전 웨이퍼에 X선을 주사하여 발생하는 형광 X선의 제 1 강도를 측정하는 단계;

상기 웨이퍼에 박막을 증착하는 단계;

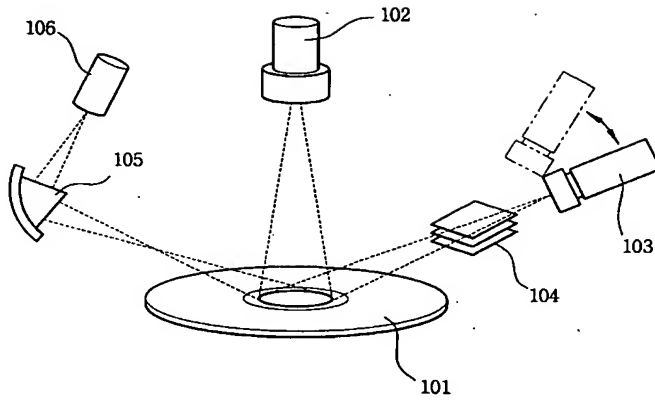
상기 박막 증착 후 상기 웨이퍼에 X선을 주사하여 발생하는 형광 X선의 제 2 강도를 측정하는 단계;

상기 형광 X선의 제 2 강도와 상기 형광 X선의 제 1 강도 차를 구하여 박막에 의한 형광 X선의 강도를 구하는 단계; 및

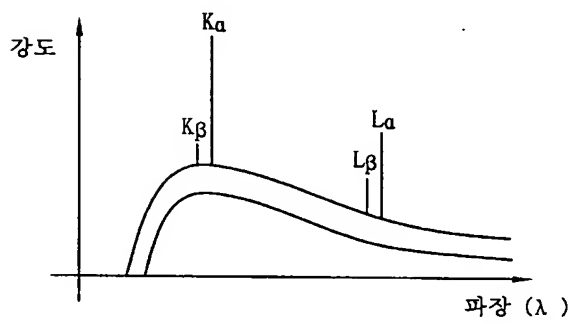
상기 박막에 의한 형광 X선의 강도를 기 작성된 박막의 두께 및 불순물의 농도에 따른 형광 X선의 강도가 기록된 자료와 비교하여 박막의 두께 및 불순물의 농도를 구하는 단계; 를 포함하는 박막의 불순물 농도 측정방법.

【도면】

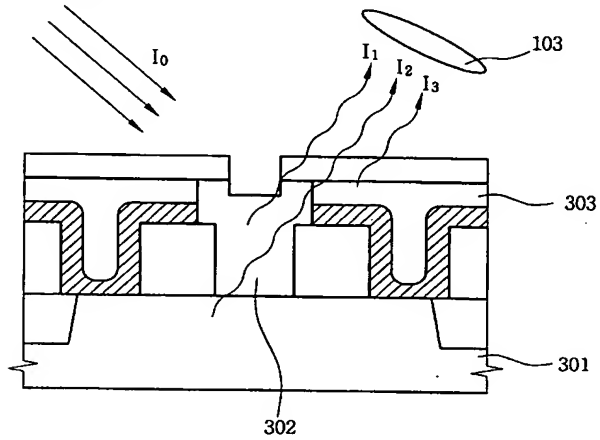
【도 1】



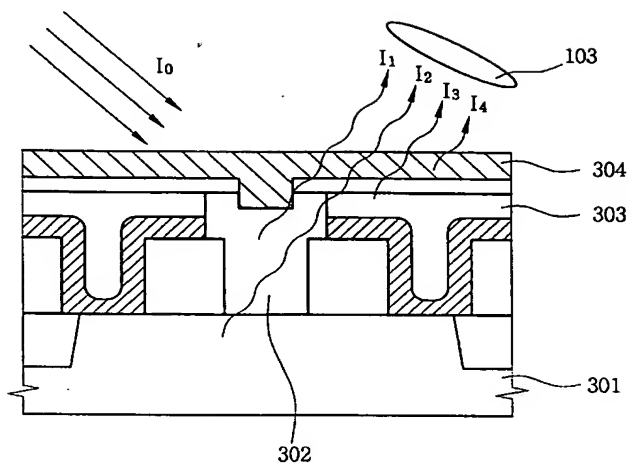
【도 2】



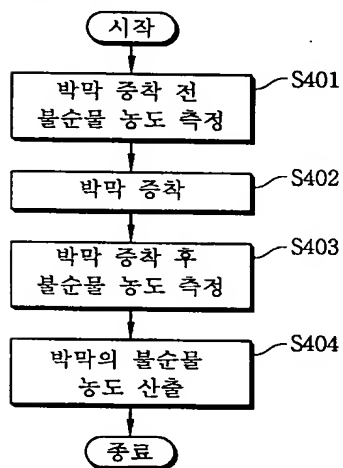
【도 3a】



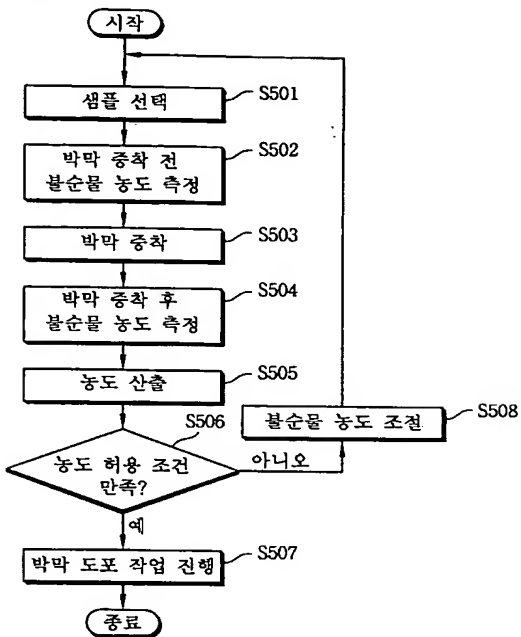
【도 3b】



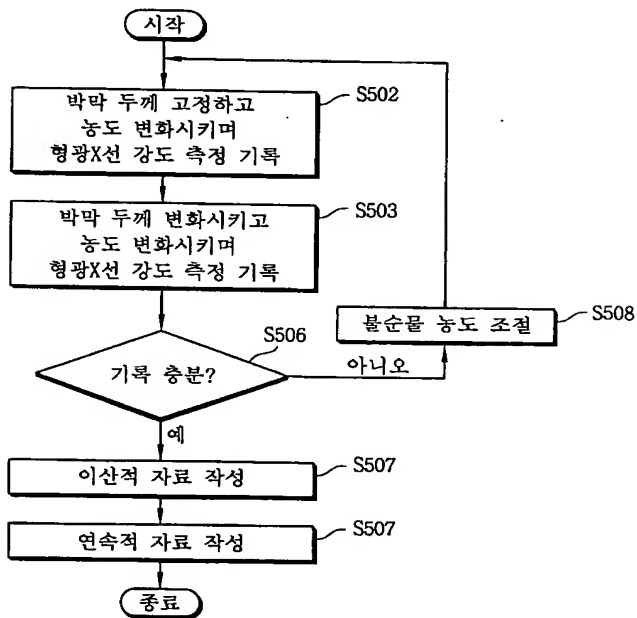
【도 4】



【도 5】

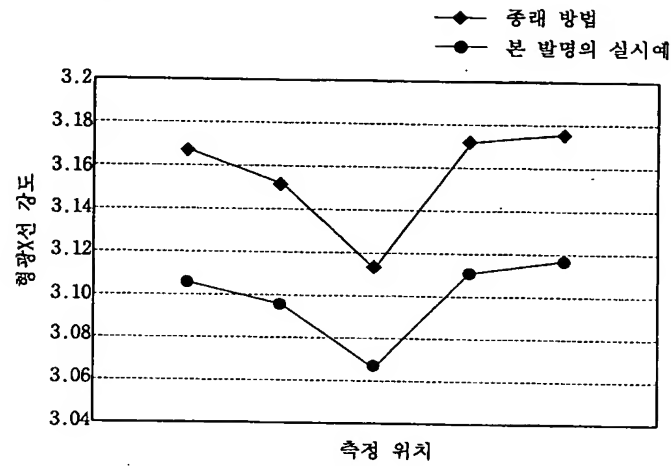


【도 6】





【도 7a】



【도 7b】

